

STAGE POSITION CONTROL METHOD AND STAGE POSITION CONTROLLER

Publication number: JP2001022448 (A)

Publication date: 2001-01-26

Inventor(s): MAKINO KENICHI; TOMITA YOSHIYUKI; MORI HIDEHIKO

Applicant(s): SUMITOMO HEAVY INDUSTRIES

Classification:

- international: *G05B13/02; B23Q1/00; B23Q1/30; B23Q1/58; B23Q1/62; G05B11/32; G05B11/36; G05B19/19; G05D3/12; G12B5/00; G05B13/02; B23Q1/00; B23Q1/25; B23Q1/26; G05B11/32; G05B11/36; G05B19/19; G05D3/12; G12B5/00; (IPC1-7): G05D3/12; B23Q1/30; G05B11/32; G05B11/36; G05B13/02; G05D3/12; G12B5/00*

- European: G05B19/19S

Application number: JP19990189336 19990702

Priority number(s): JP19990189336 19990702

Also published as:

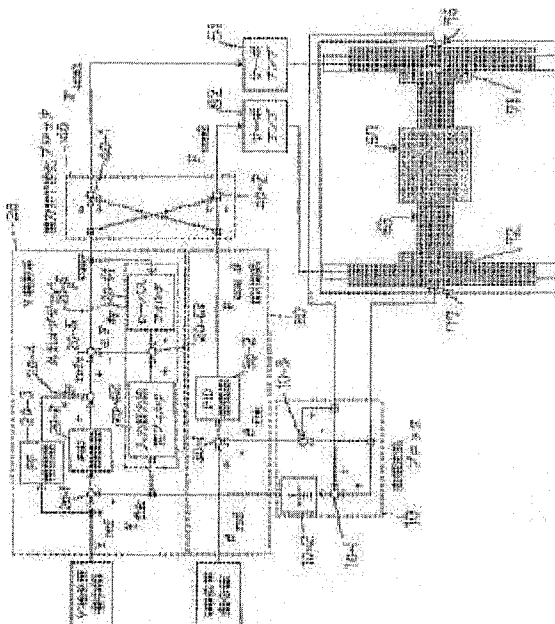
JP3312297 (B2)

US6584367 (B1)

Abstract of JP 2001022448 (A)

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a stage position control method which is suitable for a positioning stage mechanism and can improve positioning precision and constant speed property.

SOLUTION: A Y1 linear motor 71 and a Y2 linear motor 72 which can independently be controlled can translate and drive a Y stage 63 in the direction of a Y-axis. A Y1 linear encoder 76 and a Y2 linear encoder 77 detect the shift quantity of the Y stage and it is fed back to a Y control system 20 and a θ control system 30. The Y control system outputs a translation thrust command value by receiving the average value of respective position detection values measured by the Y1 linear encoder and the Y2 linear encoder as the position feedback value of a stage translation direction.; The θ control system receives the difference of the respective position detection values as the position feedback value of a stage yawing direction and outputs a yawing direction thrust command value. A non-interference block 40 outputs a Y1 linear motor thrust command value and a Y2 linear motor thrust command value from the parallel thrust command value and the yawing direction thrust command value. Thus, the motion of the Y stage is separated into translation direction motion and yawing direction motion and they are independently controlled/compensated.



Data supplied from the esp@cenet database — Worldwide

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号
特開2001-22448
(P2001-22448A)

(43)公開日 平成13年1月26日(2001.1.26)

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード*(参考)
G 0 5 D 3/12	3 0 5	G 0 5 D 3/12	3 0 5 L 2 F 0 7 8
	3 0 4		3 0 4 3 C 0 4 8
B 2 3 Q 1/30		B 2 3 Q 1/30	5 H 0 0 4
G 0 5 B 11/32		G 0 5 B 11/32	F 5 H 3 0 3
			A 9 A 0 0 1

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 12 頁) 最終頁に続く

(21)出願番号	特願平11-189336	(71)出願人	000002107 住友重機械工業株式会社 東京都品川区北品川五丁目9番11号
(22)出願日	平成11年7月2日(1999.7.2)	(72)発明者	牧野 健一 神奈川県平塚市夕陽ヶ丘63番30号 住友重 機械工業株式会社平塚事業所内
		(72)発明者	富田 良幸 神奈川県平塚市夕陽ヶ丘63番30号 住友重 機械工業株式会社平塚事業所内
		(74)代理人	100071272 弁理士 後藤 洋介 (外1名)

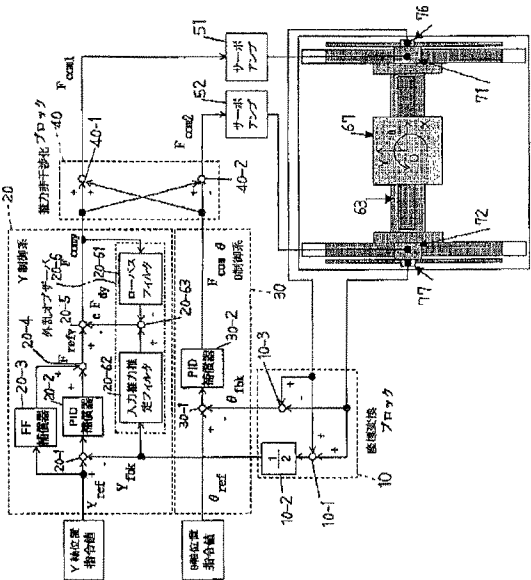
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 ステージ位置制御方法及びステージ位置制御装置

(57)【要約】

【課題】 位置決めステージ機構に適し、その位置決め精度、定速性の向上を図ることのできるステージ位置制御方法を提供すること。

【解決手段】 Yステージ63をY軸方向に、独立に制御可能なY1リニアモータ71、Y2リニアモータ72により並進駆動可能とし、Yステージの移動量をY1リニアエンコーダ76、Y2リニアエンコーダ77により検出してY制御系20、θ制御系30にフィードバックする。Y制御系は、Y1リニアエンコーダ、Y2リニアエンコーダによって計測される各位置検出値の平均値をステージ並進方向の位置フィードバック値として受けることにより並進推力指令値を出力し、θ制御系は、前記各位置検出値の差をステージヨーイング方向の位置フィードバック値として受けてヨーイング方向推力指令値を出力する。非干渉化ブロック40は、並進推力指令値とヨーイング方向推力指令値よりY1リニアモータ推力指令値、Y2リニアモータ推力指令値を出力する。以上により、Yステージの運動を並進方向運動とヨーイング方向運動とに分離して独立に制御補償する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 ステージを搭載して一軸方向に駆動される駆動軸を独立に制御可能な第1、第2の駆動系により並進駆動可能とし、前記第1、第2の駆動系による移動量をそれぞれ第1、第2の位置検出器により検出して第1、第2のフィードバック制御系によりそれぞれ前記第1、第2の駆動系を制御するステージ位置制御方法において、

前記第1のフィードバック制御系は、前記第1、第2の位置検出器によって計測される各位置検出値の平均値をステージ並進方向の位置フィードバック値として受けることにより前記第1、第2の駆動系に並進推力指令値を出力し、

前記第2のフィードバック制御系は、前記各位置検出値の差をステージヨーイング方向の位置フィードバック値として受けて前記第1、第2の駆動系にヨーイング方向推力指令値を出力することにより、ステージの運動を並進方向運動とヨーイング方向運動とに分離して独立に制御補償することを特徴とするステージ位置制御方法。

【請求項2】 請求項1記載のステージ位置制御方法において、前記並進推力指令値と前記ヨーイング方向推力指令値とを加算して前記第1の駆動系に出力すると共に、前記並進推力指令値と前記ヨーイング方向推力指令値との差を算出して前記第2の駆動系に出力することにより推力の非干渉化を実現することを特徴とするステージ位置制御方法。

【請求項3】 ステージを搭載して一軸方向に駆動される駆動軸を独立に制御可能な第1、第2の駆動系により並進駆動可能とし、前記第1、第2の駆動系による移動量をそれぞれ第1、第2の位置検出器により検出して第1、第2のフィードバック制御系によりそれぞれ前記第1、第2の駆動系を制御するステージ位置制御装置において、

前記第1、第2の位置検出器によって計測される各位置検出値の平均値を算出してステージ並進方向の位置フィードバック値として前記第1のフィードバック制御系に出力すると共に、前記各位置検出値の差を算出してステージヨーイング方向の位置フィードバック値として前記第2のフィードバック制御系に出力する座標変換ブロックを備え、

前記第1のフィードバック制御系は、ステージ並進方向の位置指令値と前記ステージ並進方向の位置フィードバック値との差を算出する第1の減算器と、該第1の減算器で算出された差を入力として推力目標値を出力する第1のPID補償器と、前記推力目標値から算出される並進推力指令値と前記ステージ並進方向の位置フィードバック値とに基づいてステージ推定外乱力を演算する外乱オブザーバと、演算された前記ステージ推定外乱力を前記推力目標値から差し引くことにより新たな並進推力指令値を算出して前記第1、第2の駆動系に出力する第2

の減算器とを含み、

前記第2のフィードバック制御系は、ステージヨーイング方向の指令値と前記ステージヨーイング方向の位置フィードバック値との差を算出する第3の減算器と、該第3の減算器で算出された差を入力としてヨーイング方向推力指令値を前記第1、第2の駆動系に出力する第2のPID補償器とを含むことを特徴とするステージ位置制御装置。

【請求項4】 請求項3記載のステージ位置制御装置において、前記並進推力指令値と前記ヨーイング方向推力指令値とを加算して前記第1の駆動系に出力する第1の加算器と、前記並進推力指令値と前記ヨーイング方向推力指令値との差を算出して前記第2の駆動系に出力する第4の減算器とから成る推力非干渉化ブロックを更に備えることにより、推力の非干渉化を実現することを特徴とするステージ位置制御装置。

【請求項5】 請求項3記載のステージ位置制御装置において、前記外乱オブザーバは、前記並進推力指令値をローパスフィルタにてフィルタリングした推力指令推定値と、ステージの逆モデル及びローパスフィルタにて前記ステージ並進方向の位置フィードバック値より推定した入力推力推定値との差分により前記ステージ推定外乱力を演算することを特徴とするステージ位置制御装置。

【請求項6】 請求項3記載のステージ位置制御装置において、前記ステージ並進方向の位置指令値を入力とするフィードフォワード補償器と、該フィードフォワード補償器の出力と前記第1のPID補償器の出力とを加算して前記推力目標値として出力する第2の加算器とを更に備えたことを特徴とするステージ位置制御装置。

【請求項7】 請求項3記載のステージ位置制御装置において、前記第1、第2の駆動系はそれぞれリニアモータであり、前記第1、第2の位置検出器はそれぞれリニアエンコーダであることを特徴とするステージ位置制御装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、ステージ位置制御方法及びステージ位置制御装置に関し、特にステージをX方向及びY方向に駆動するステージ機構に適したステージ位置制御方法及びステージ位置制御装置に関する。

【0002】

【従来の技術】この種のステージ機構の一例を、本出願人により提案（特願平10-332213号）されているX-Yステージ装置について図3を参照して説明する。

【0003】図3において、このX-Yステージ装置の固定部分は上面を静圧軸受け案内面としたベース60とベース60上に固定された一对のガイドレール61及び62である。ガイドレール61、62はそれぞれ、互いに対向し合う案内面61a、62aを持つ。図3中、案

内面61a、62aに沿ってY軸方向に直線案内される部分は、ガイドレール61と62との間に配置されて両端にT字状部を持つYステージ63と、X-Y平面に垂直なZ軸まわりの回転1自由度を持つ4個の継ぎ手64(2個のみ図示)を介してYステージ63のT字状部の側面に接続された4個の静圧空気軸受けパッド65(1個のみ図示)と、Yステージ63の下面に接続された3個の静圧空気軸受けパッド66-1~66-3である。なお、静圧空気軸受けパッド66-3は、Yステージ63の中心軸に対応する箇所に設けられ、静圧空気軸受けパッド66-1、66-2はYステージ63の中心軸に関してほぼ対称な位置に設けられる。すなわち、静圧空気軸受けパッド66-1~66-3は、それぞれの中心が二等辺三角形を形成するように配置される。Yステージ63は、その延在方向に平行な2つの側面がXステージ67を案内するための基準面として形成されている。

【0004】図3中、Y軸方向に直線案内されながらX軸方向にも直線案内される部分は、Yステージ63をまたぐように組み合わせられたコ字形状のXステージ67と、Yステージ63の側面に対向するようにXステージ67のコ字形状の内面に接続された4個の静圧空気軸受けパッド69-1~69-4と、Xステージ67の下面に接続された3個の静圧空気軸受けパッド70-1~70-3である。

【0005】Yステージ63は静圧空気軸受けパッド65によって、ベース60に対するX軸方向の拘束を非接触に受ける。Yステージ63はまた、静圧空気軸受けパッド66-1~66-3とYステージ63の自重によって、ベース60に対するZ軸方向の拘束を非接触に受ける。この2方向の拘束によりYステージ63はY軸方向に運動(直線案内)可能となる。

【0006】同様に、Xステージ67は静圧空気軸受けパッド69-1~69-4によって、Yステージ63に対するY軸方向の拘束を非接触に受ける。Xステージ67はまた、静圧空気軸受けパッド70-1~70-3とXステージ67の自重によって、ベース60に対するZ軸方向の拘束を非接触に受ける。これらの構成により、Xステージ67は、ベース60に対してX軸方向とY軸方向に直線案内される。

【0007】ここでは、Yステージ63の駆動系として、ガイドレール61、62上にそれぞれ構成された一対のY1リニアモータ71、Y2リニアモータ72を使用し、Xステージ67の駆動系としてYステージ63上に構成されたXリニアモータ73をそれぞれ使用している。

【0008】この種のリニアモータは周知であるので、Y2リニアモータ72について簡単に説明すると、ギャップにおいて配列した多数の上側永久磁石72-1と多数の下側永久磁石72-2との間にYステージ63から延ばしたコイル(図示せず)を配置して成る。

【0009】Yステージ63の2つのT字状部には、ガイドレール61、62に設けられたY1リニアスケール74、Y2リニアスケール75と共にY1リニアモータ71、Y2リニアモータ72による移動量を検出するためのY1リニアエンコーダ76、Y2リニアエンコーダ77が設けられる。Xステージ67には、Yステージ63に設けられたXリニアスケール78と共にXリニアモータ73による移動量を検出するためのXリニアエンコーダ79が設けられる。

【0010】このようなステージ装置において、Yステージ63は、2つの独立した駆動系により並進駆動される駆動軸として考えることができる。そして、このような駆動軸はガントリ軸とも呼ばれる。いずれにしても、このようなステージ構成では2つのガイドレール61、62間の距離に対し、Yステージ63用の静圧空気軸受け間の距離は短い。このような場合、Yステージ63の移動時にYステージ63はZ軸方向まわりの回転運動(ヨーイング運動)を引き起こしやすい。

【0011】これを選けるには、2つのガイドレール61、62間の距離に対しYステージ63用の静圧空気軸受け間の距離を長くすることが必要である。しかし、そうすると、ステージ装置のフットプリントが大きくなる上に、ステージ装置の重量が増して高速な移動が困難になるなどの欠点がある。

【0012】このためYステージ63を移動する際は、2個のモータ(Y1リニアモータ71及びY2リニアモータ72)でYステージ63の両端を駆動する。このとき駆動軸の制御方法としては、一般に次の3つの方式が考えられる。

【0013】第1の方式を図4に示す。図3と同じ部分については同一番号を付している。この第1の方式では、Y1リニアモータ71とY2リニアモータ72に対して共通のY(並進方向)制御系により、同一の推力指令を与える方式である。Y制御系はY軸位置指令値を指令入力 Y_{ref} とし、Y1リニアエンコーダ76からの位置検出値とY2リニアエンコーダ77からの位置検出値の平均値をフィードバック入力 Y_{fbk} とするフィードバック制御系によるPID補償を基本構成とする。このために、Y1リニアエンコーダ76からの位置検出値とY2リニアエンコーダ77からの位置検出値とを加算するための加算器81と、加算された値の1/2、すなわち平均値を算出する演算器82と、Y軸位置指令値と平均値との差を取る減算器83と、PID補償器84とを含む。ここでは更に、追従性を向上させるためのフィードフォワード(以下、FFと呼ぶ)補償器85を付加し、FF補償器85の出力とPID補償器84の出力とを加算器86で加算するようにしている。加算器86の出力は、推力指令値としてY1リニアモータ71用のサーボアンプ87と、Y2リニアモータ72用のサーボアンプ88に与えられる。

【0014】上記の第1の方式では、ステージのヨーイング運動に伴う誤差は検出されないため、その誤差を抑制する制御が行われない。ヨーイング運動に対する機械的剛性によって、その誤差の大きさが決まる。前述したように、ガイドレール61、62間の距離に対してYステージ63の静圧空気軸受け間の距離が短い構成ではヨーイング剛性が低いため大きなヨーイング誤差を生じる。また、Xステージ67の位置によってY方向可動部（Yステージ63及びXステージ67）の重心位置が移動するため、ヨーイング誤差の大きさはXステージ67の位置によって変動する。

【0015】第2の方式について図5を参照して説明する。図4と同じ部分については同一番号を付している。これはY1リニアモータ71のための制御系をY1制御系とし、Y2リニアモータ72のための制御系をY2制御系として個別に制御する方式である。

【0016】まず、Y1制御系は、Y軸位置指令値を指令入力 Y_{ref1} とし、Y1リニアエンコーダ71からの検出値をフィードバック入力 Y_{fbk1} とするフィードバック制御系によるPID補償を基本構成とする。ここでも、追従性を向上させるためにFF補償器85が付加されている。動作は、フィードバック入力異なることを除いて図4で説明した通りである。

【0017】一方、Y2制御系は、Y1リニアエンコーダ76からの位置検出値を指令入力 Y_{ref2} とし、Y2リニアエンコーダ77からの位置検出値をフィードバック入力 Y_{fbk2} とするフィードバック制御系によるPID補償で構成している。このために、Y2制御系は、Y1リニアエンコーダ76からの位置検出値 Y_{ref2} とY2リニアエンコーダ77からの位置検出値 Y_{fbk2} とを加算する加算器91と、PID補償器92とを有する。

【0018】この第2の方式では、Y2リニアモータ72はY1リニアモータ71をマスターとしたスレーブ動作を行うため、マスタースレーブ制御方式とも呼ばれる。この第2の方式でも、Yステージ63のヨーイング運動に伴う誤差は検出されないため、その誤差を抑制する制御が行われない。Y方向移動時はY1リニアモータ71が常に先行する状態となり、移動時はヨーイング誤差を生じた状態となり、移動方向を逆転するとヨーイング誤差の方向も反転する。このときのヨーイング誤差の大きさを決定するのは機械的剛性である。また、Xステージ63の位置によってY方向可動部（Yステージ63及びXステージ67）の重心位置が移動するため、ヨーイング誤差の大きさはXステージ67の位置によって変動する。

【0019】第3の方式を図6を参照して説明する。図5と同じ部分には同一番号を付している。この第3の方式も、Y1リニアモータ71のための制御系をY1制御系とし、Y2リニアモータ72のための制御系をY2制御系として個別に制御する方式である。Y1制御系は図

5に示したものと同じであり、Y2制御系もY1制御系と同じ構成としている。

【0020】まず、Y1制御系は、Y軸位置指令値を指令入力 Y_{ref1} とし、Y1リニアエンコーダ71からの位置検出値をフィードバック入力 Y_{fbk1} とするフィードバック制御系によるPID補償を基本構成としている。一方、Y2制御系は、Y軸位置指令値を指令入力 Y_{ref2} とし、Y2リニアエンコーダ72からの位置検出値をフィードバック入力とするフィードバック制御系によるPID補償を基本構成としている。このために、Y2制御系は、Y軸位置指令値 Y_{ref2} とY2リニアエンコーダ77からの位置検出値 Y_{fbk2} との差を演算するための減算器95と、PID補償器96とを含む。ここでも、追従性を向上させるためにFF補償器97を付加し、FF補償器97の出力とPID補償器96の出力とを加算器98で加算するようにしている。加算器98の出力は、推力指令値としてY2リニアモータ72用のサーボアンプ88に与えられる。

【0021】この第3の方式では、Y1リニアモータ71とY2リニアモータ72を独立のモータとして考え、制御を行う。このため、Yステージ63のヨーイング運動に伴う誤差も各モータの並進方向の誤差として検出され、制御される。しかし、実際にはY1リニアモータ71とY2リニアモータ72は機械的に結合しているため、両方の制御系は機械剛性によって干渉する。このため、独立に制御を行うことは原理的に問題があり、これは、位置決め精度及び応答性を向上させるために制御ゲインを上げた場合に顕著に表れる。機械剛性で結合された片方のリニアモータの挙動が他方のリニアモータへの外乱として作用するため、制御系の安定性を劣化させるという問題である。

【0022】Xステージ67の位置が中央にある場合は、Y1制御系とY2制御系の応答性が完全に一致していれば原理的には、モータ推力による干渉はない。しかし、ステージに対し、何らかの外乱力が加わった場合、その力で生じるヨーイング運動はリニアモータ間の干渉を発生させる。また、Xステージ67の位置によって可動部の重心位置が移動するため、この干渉成分は変動しヨーイング誤差も変動する。

【0023】

【発明が解決しようとする課題】更に、上記の3つの方式の共通の問題点として、各ステージへの給電ケーブル・空気配管等のテンション、リニアモータの推力リップルといった外乱による位置決め精度・定速性への影響がある。

【0024】このような外乱要素に対してはフィードバック制御系の制御ゲインを高くすることによって、誤差を低減しなければならない。しかし、ステージ機構の機械共振周波数あるいは制御のためのコントローラの演算時間などによって決定される制御系の安定性の限界から

設定できる制御ゲインには上限があり、実際にはこのような外乱要素によって位置決め誤差あるいは速度変動を生じる。

【0025】そこで、本発明の課題は、工作機械、半導体製造装置、計測装置等の各種産業機器の構成要素である位置決めステージ機構に適し、その位置決め精度、定速性の向上を図ることのできるステージ位置制御方法を提供することにある。

【0026】本発明の他の課題は、上記のステージ位置制御方法に適したステージ位置制御装置を提供することにある。

【0027】

【課題を解決するための手段】本発明によれば、ステージを搭載して一軸方向に駆動される駆動軸を独立に制御可能な第1、第2の駆動系により並進駆動可能とし、前記第1、第2の駆動系による移動量をそれぞれ第1、第2の位置検出器により検出して第1、第2のフィードバック制御系によりそれぞれ前記第1、第2の駆動系を制御するステージ位置制御方法において、前記第1のフィードバック制御系は、前記第1、第2の位置検出器によって計測される各位置検出値の平均値をステージ並進方向の位置フィードバック値として受けることにより前記第1、第2の駆動系に並進推力指令値を出力し、前記第2のフィードバック制御系は、前記各位置検出値の差をステージヨーイング方向の位置フィードバック値として受けて前記第1、第2の駆動系にヨーイング方向推力指令値を出力することにより、ステージの運動を並進方向運動とヨーイング方向運動とに分離して独立に制御補償することを特徴とするステージ位置制御方法が提供される。

【0028】本ステージ位置制御方法においては、前記並進推力指令値と前記ヨーイング方向推力指令値とを加算して前記第1の駆動系に出力すると共に、前記並進推力指令値と前記ヨーイング方向推力指令値との差を算出して前記第2の駆動系に出力することにより推力の非干渉化を実現することができる。

【0029】本発明によればまた、ステージを搭載して一軸方向に駆動される駆動軸を独立に制御可能な第1、第2の駆動系により並進駆動可能とし、前記第1、第2の駆動系による移動量をそれぞれ第1、第2の位置検出器により検出して第1、第2のフィードバック制御系によりそれぞれ前記第1、第2の駆動系を制御するステージ位置制御装置において、前記第1、第2の位置検出器によって計測される各位置検出値の平均値を算出してステージ並進方向の位置フィードバック値として前記第1のフィードバック制御系に出力すると共に、前記各位置検出値の差を算出してステージヨーイング方向の位置フィードバック値として前記第2のフィードバック制御系に出力する座標変換ブロックを備え、前記第1のフィードバック制御系は、ステージ並進方向の位置指令値と前

記ステージ並進方向の位置フィードバック値との差を算出する第1の減算器と、該第1の減算器で算出された差を入力として推力目標値を出力する第1のPID補償器と、前記推力目標値から算出される並進推力指令値と前記ステージ並進方向の位置フィードバック値とに基づいてステージ推定外乱力を演算する外乱オブザーバと、演算された前記ステージ推定外乱力を前記推力目標値から差し引くことにより新たな並進推力指令値を算出して前記第1、第2の駆動系に出力する第2の減算器とを含み、前記第2のフィードバック制御系は、ステージヨーイング方向の指令値と前記ステージヨーイング方向の位置フィードバック値との差を算出する第3の減算器と、該第3の減算器で算出された差を入力としてヨーイング方向推力指令値を前記第1、第2の駆動系に出力する第2のPID補償器とを含むことを特徴とするステージ位置制御装置が提供される。

【0030】本ステージ位置制御装置においては、前記並進推力指令値と前記ヨーイング方向推力指令値とを加算して前記第1の駆動系に出力する第1の加算器と、前記並進推力指令値と前記ヨーイング方向推力指令値との差を算出して前記第2の駆動系に出力する第4の減算器とから成る推力非干渉化ブロックを更に備えることにより、推力の非干渉化を実現することができる。

【0031】前記外乱オブザーバは、前記並進推力指令値をローパスフィルタにてフィルタリングした推力指令推定値と、ステージの逆モデル及びローパスフィルタにて前記ステージ並進方向の位置フィードバック値より推定した入力推力推定値との差分により前記ステージ推定外乱力を演算することを特徴とする。

【0032】なお、前記ステージ並進方向の位置指令値を入力とするフィードフォワード補償器と、該フィードフォワード補償器の出力と前記第1のPID補償器の出力とを加算して前記推力目標値として出力する第2の加算器とを更に備えることが望ましい。

【0033】前記第1、第2の駆動系はそれぞれリニアモータで構成され、前記第1、第2の位置検出器はそれぞれリニアエンコーダであることが好ましい。

【0034】

【作用】本発明では、独立に制御可能な第1、第2の駆動系と第1、第2の位置検出器とが、ある一定距離において配置され構成される駆動軸（ガントリ軸）において、ステージのヨーイングによる誤差の発生を抑制し、ステージに働く外乱力を補償することで、ステージの位置決め精度を向上させることができる。

【0035】また、ステージの運動を一軸方向への並進運動とヨーイング運動に分離して制御補償することで、ステージの並進運動精度だけでなく、ヨーイング運動精度の向上を図っている。更に、並進運動については機構に働く外乱トルクを推定し補償することで、ステージの速度変動及び位置変動を抑制している。

【0036】

【発明の実施の形態】図1、図2を参照して、本発明の実施の形態について説明する。本発明による制御装置の構成を図1に示す。図1において、ステージ機構の構成は、図3で説明したものと同一とする。本発明による制御装置の制御系は、座標変換ブロック10、Y1リニアモータ71をフィードバック制御するためのY（ステージ並進方向）制御系20、Y2リニアモータ72をフィードバック制御するための θ （ステージヨーイング方向）制御系30、推力非干渉化ブロック40より構成される。

【0037】座標変換ブロック10は、Y1リニアエンコーダ76からの位置検出値とY2リニアエンコーダ77からの位置検出値とを加算する加算器10-1と、その加算結果の $1/2$ 、すなわち平均値を演算する演算器10-2とを含み、Y1リニアエンコーダ76からの位置検出値とY2リニアエンコーダ77からの位置検出値の平均値によりY方向並進位置を算出し、Y制御系へのフィードバック入力 Y_{fbk} とする。座標変換ブロック10はまた、Y1リニアエンコーダ76からの位置検出値とY2リニアエンコーダ77からの位置検出値の差を演算する減算器10-3を有し、Y1リニアエンコーダ76からの位置検出値とY2リニアエンコーダ77からの位置検出値の差によりヨーイング方向位置を算出し、 θ 制御系30へのフィードバック入力 θ_{fbk} とする。

【0038】Y制御系20は、Y軸位置指令値を指令入力 Y_{ref} とし、これとフィードバック入力 Y_{fbk} との差を演算する減算器（第1の減算器）20-1と、その加算結果を入力とするPID補償器（第1のPID補償器）20-2と、指令入力 Y_{ref} を入力とするFF補償器20-3と、PID補償器20-2の出力とFF補償器20-3の出力とを加算して推力目標値 F_{ref} を算出する加算器20-4と、加算器20-5及び外乱オブザーバ20-6とを有する。すなわち、Y制御系20は、Y軸位置指令値を指令入力 Y_{ref} とし、座標変換ブロック10からのフィードバック入力 Y_{fbk} をフィードバック入力とするフィードバック制御系を構成するPID補償器20-2と外乱オブザーバ20-6とを基本構成とする。FF補償器20-3は、前述したように、追従性を向上させるためのものであり、削除される場合もある。Y制御系20は、PID補償器20-2と外乱オブザーバ20-6及びFF補償器20-3によりY方向並進推力指令値 F_{comv} を算出する。

【0039】 θ 制御系30は、 θ 軸位置指令値を指令入力 θ_{ref} としてこれと座標変換ブロック10からのフィードバック入力 θ_{fbk} との差を演算する減算器（第3の減算器）30-1と、PID補償器（第2のPID補償器）30-2とを有する。すなわち、 θ 制御系30は、 θ 軸位置指令値を指令入力 θ_{ref} とし、座標変換ブロック10からのフィードバック入力 θ_{fbk} をフィードバック

ク入力とするフィードバック制御系をPID補償器30-2で構成する。 θ 制御系30は、PID補償器30-2により θ 方向推力指令値 $F_{com\theta}$ を算出する。

【0040】推力非干渉化ブロック40は、加算器（第1の加算器）40-1によりY方向並進推力指令値 F_{comv} と θ 方向推力指令値 $F_{com\theta}$ との和を演算してY1リニアモータ71への推力指令値 F_{com1} を算出する。推力非干渉化ブロック40はまた、減算器（第4の減算器）40-2によりY方向並進推力指令値 F_{comv} と θ 方向推力指令値 $F_{com\theta}$ との差を演算してY2リニアモータへの推力指令値 F_{com2} を算出する。推力指令値 F_{com1} 、 F_{com2} はそれぞれ、サーボアンプ51、52を通してY1リニアモータ71、Y2リニアモータ72へ与えられる。

【0041】外乱オブザーバ20-6は、Y方向並進推力指令値 F_{comv} を入力とするローパスフィルタ20-61と、フィードバック入力 Y_{fbk} を入力とする入力推力推定フィルタ20-62と、入力推力推定フィルタ20-62の出力とローパスフィルタ20-61の出力から推定外乱力 eF_{dv} を演算する減算器20-63とで構成される。

【0042】Y制御系20における減算器（第2の減算器）20-5は、推力目標値 F_{ref} から推定外乱力 eF_{dv} を減算してY方向並進推力指令値 F_{comv} を出力する。

【0043】次に、本制御装置の作用について説明する。座標変換ブロック10は、Y1リニアエンコーダ76からの位置検出値とY2リニアエンコーダ77からの位置検出値をYステージ63のY方向並進位置 Y_{fbk} とヨーイング方向位置 θ_{fbk} に座標変換する。また、推力非干渉化ブロック40は、Y方向並進推力指令値 F_{comv} と θ 方向推力指令値 $F_{com\theta}$ を、Y1リニアモータ71への推力指令値 F_{com1} とY2リニアモータ72への推力指令値 F_{com2} に変換する。このため、座標変換ブロック10と推力非干渉化ブロック40の間ではY方向並進運動とヨーイング方向運動は分離されており、2つの自由度の運動に対する制御補償が独立な制御系として設計・調整可能になる。

【0044】2つの自由度に対して独立な制御系を構成するため、Y方向並進運動に対しては外乱オブザーバ20-6により外乱力補償が行える。

【0045】外乱オブザーバ20-6の原理を図2を参照して説明する。まず、Yステージ63のY方向並進運動はリニアモータで発生するY方向並進推力 F_{comv} と、Y方向外乱力 F_{dv} によって駆動される慣性体（M）の運動である。これは伝達関数表現により、

$$M \cdot s^2 \cdot Y_{fbk} = F_{comv} + F_{dv}$$

と表される。これより外乱力は、

$$F_{dv} = M \cdot s^2 \cdot Y_{fbk} - F_{comv}$$

で計算できる。ただし、実際のY方向並進推力指令値 F_{comv} とフィードバック入力 Y_{fbk} はノイズ成分を含むた

め、上式を直接用いると制御系の安定性が劣化する。このため、ローパスフィルタ20-61によって外乱を抑制する帯域を制限し、推定外乱力 eF_{dv} を計算する。ローパスフィルタ20-61はY方向並進推力指令値 F_{comv} を外乱抑制したい周波数帯域でフィルタリングする。入力推力推定フィルタ20-62は、Yステージ63の公称伝達関数 $M_{nom} \cdot s^2$ に基づいてフィードバック入力 Y_{fbk} より入力推力を推定する。この入力推力推定フィルタ20-62もローパスフィルタ20-61と同様のフィルタ特性を持たせ、外乱抑制したい周波数帯域の入力推力のみを算出する。ローパスフィルタ20-61でフィルタリングされた推力指令と、入力推力推定フィルタ20-62からの推定入力推力との差を減算器20-63で演算することにより推定外乱力 eF_{dv} を算出する。ローパスフィルタ20-61の特性を $G(s)$ とすると、上記の演算は以下の式で表される。

$$【0046】 eF_{dv} = G(s) \cdot M \cdot s^2 \cdot Y_{fbk} - G(s) \cdot F_{comv}$$

ただし、

$$G(s) = \omega^2 / (s^2 + 2\zeta \cdot \omega \cdot s + \omega^2)$$

である。

【0047】上式に基づき演算された推定外乱力 eF_{dv} を用い、外乱力を打ち消すように推力目標値 F_{refv} にフィードバックし、Y方向並進推力指令値 F_{comv} を算出する。

【0048】以上、本発明の好ましい実施の形態を説明したが、本発明が適用されるステージ機構の駆動系はリニアモータに限定されず、あらゆるアクチュエータを用いても可能である。また、ステージ機構の案内系は静圧空気軸受けに限定されず、リニアベアリング等の機械接触式の案内系を用いても良い。

【0049】

【発明の効果】本発明によれば、2つの自由度に対して独立な制御系を構成するため、Y方向並進運動に対しては外乱オブザーバにより外乱力補償が行え、ステージの給電ケーブル・空気配管等のテンション、モータの推力リップルといった外乱による位置決め精度・定速性への影響を低減できる。

【0050】また、ヨーイング方向運動に対しても、機

械構造による干渉等を考慮した制御補償が可能となり、Y方向移動時のヨーイング誤差を低減できる。

【0051】更に、Xステージ位置に応じて θ 方向制御ゲインを可変とすることにより、ヨーイング誤差の変動を低減できる。また、 θ 軸位置指令値を与えることにより積極的にヨーイング方向位置を移動させることも可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明によるステージ位置制御装置の構成を示した図である。

【図2】図1における外乱オブザーバの原理を説明するための図である。

【図3】本発明が適用されるステージ機構の一例を示した図である。

【図4】図3のステージ機構に適用される従来の位置制御装置の第1の例の構成を示した図である。

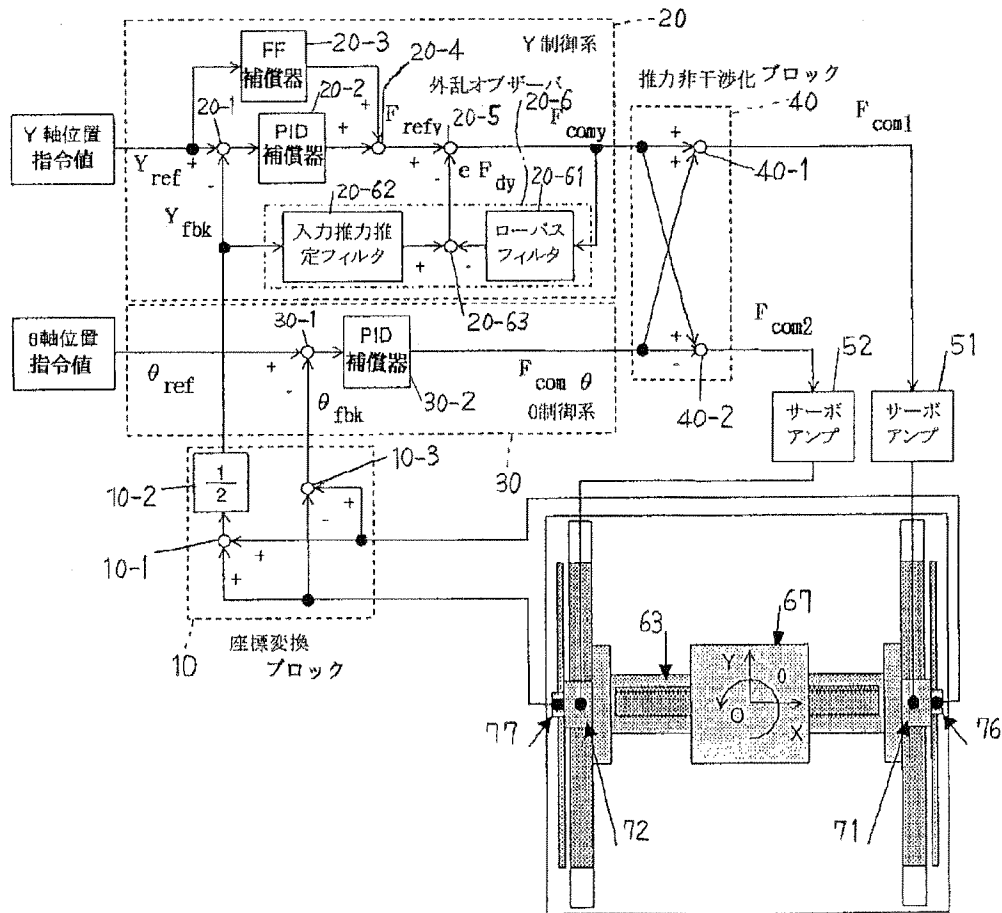
【図5】図3のステージ機構に適用される従来の位置制御装置の第2の例の構成を示した図である。

【図6】図3のステージ機構に適用される従来の位置制御装置の第3の例の構成を示した図である。

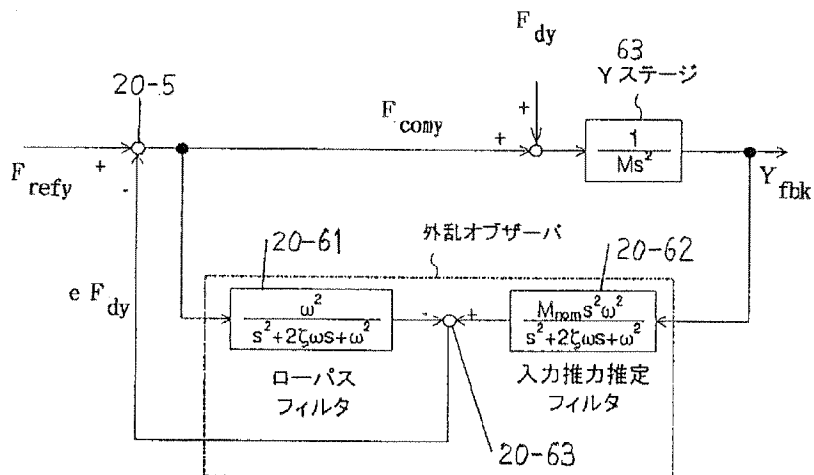
【符号の説明】

- 60 ベース
- 61、62 ガイドレール
- 63 Yステージ
- 64 継ぎ手
- 65、66-1~66-3 静圧空気軸受けパッド69-1~69-4
- 70-1~70-3 静圧空気軸受けパッド
- 67 Xステージ
- 71 Y1リニアモータ
- 72 Y2リニアモータ
- 73 Xリニアモータ
- 74 Y1リニアスケール
- 75 Y2リニアスケール
- 76 Y1リニアエンコーダ
- 77 Y2リニアエンコーダ
- 78 Xリニアスケール
- 79 Xリニアエンコーダ

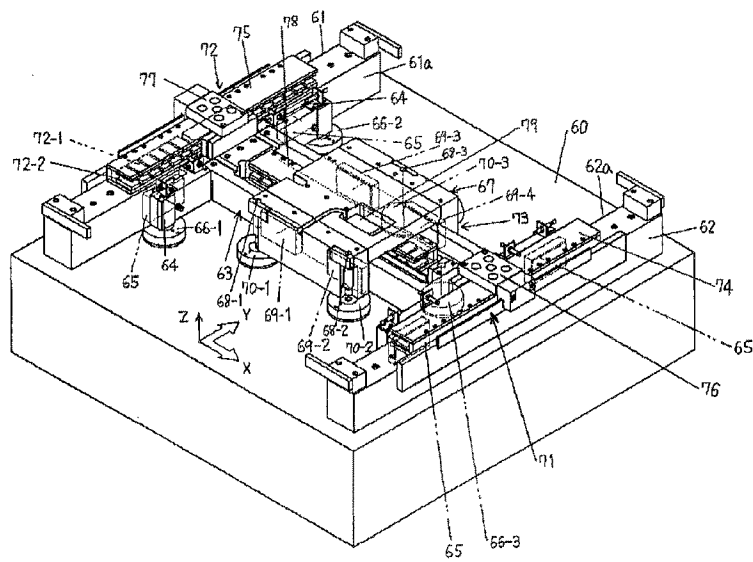
【図1】



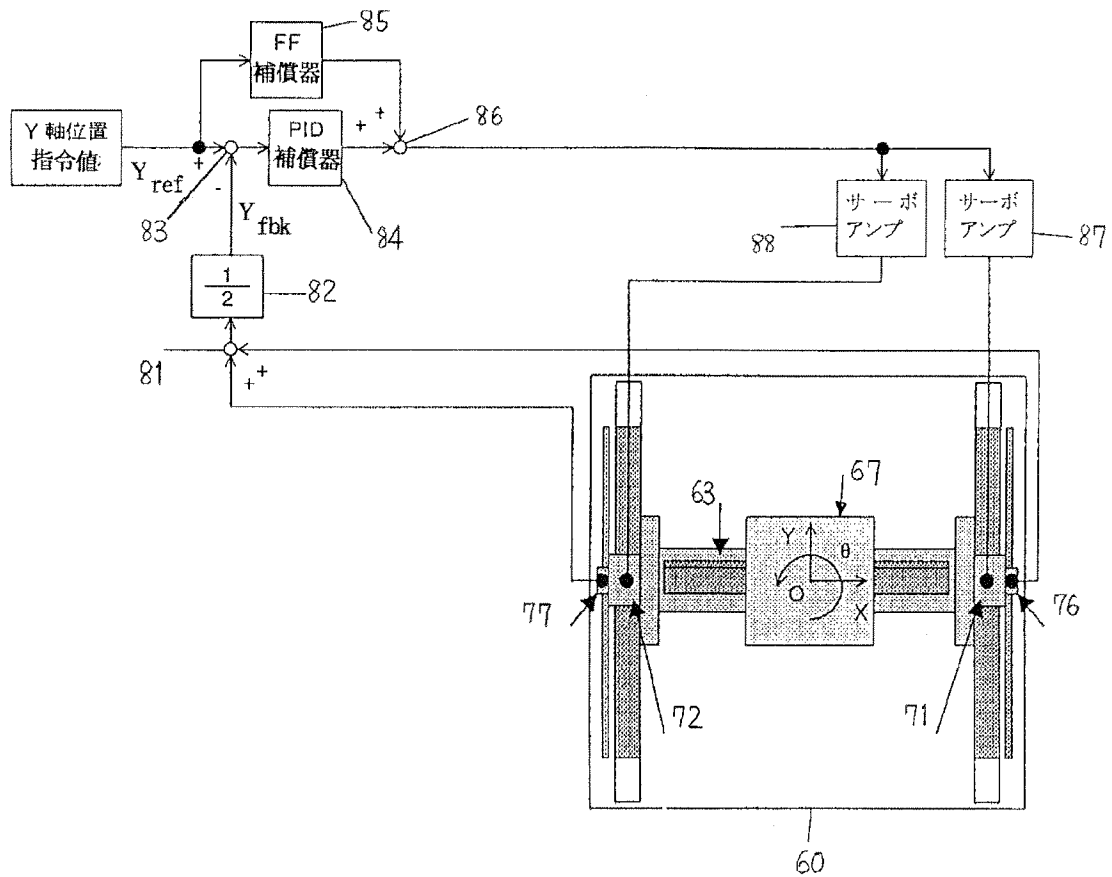
【図2】



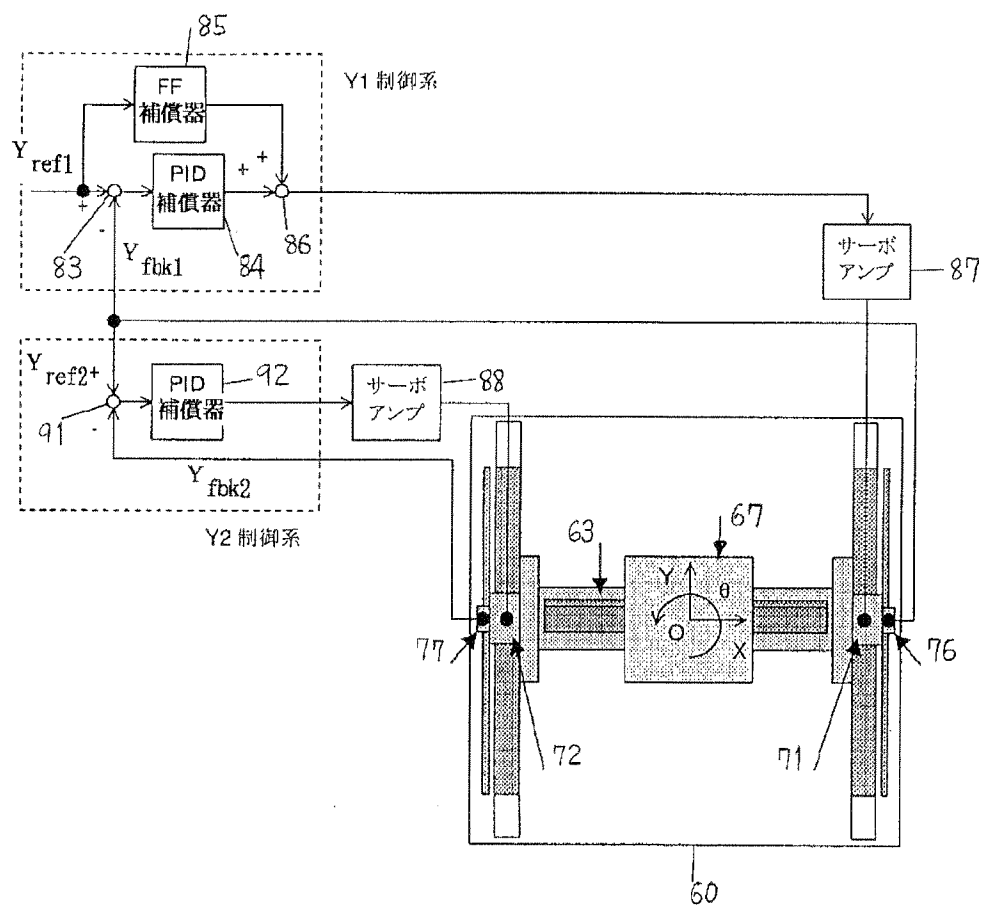
【図3】



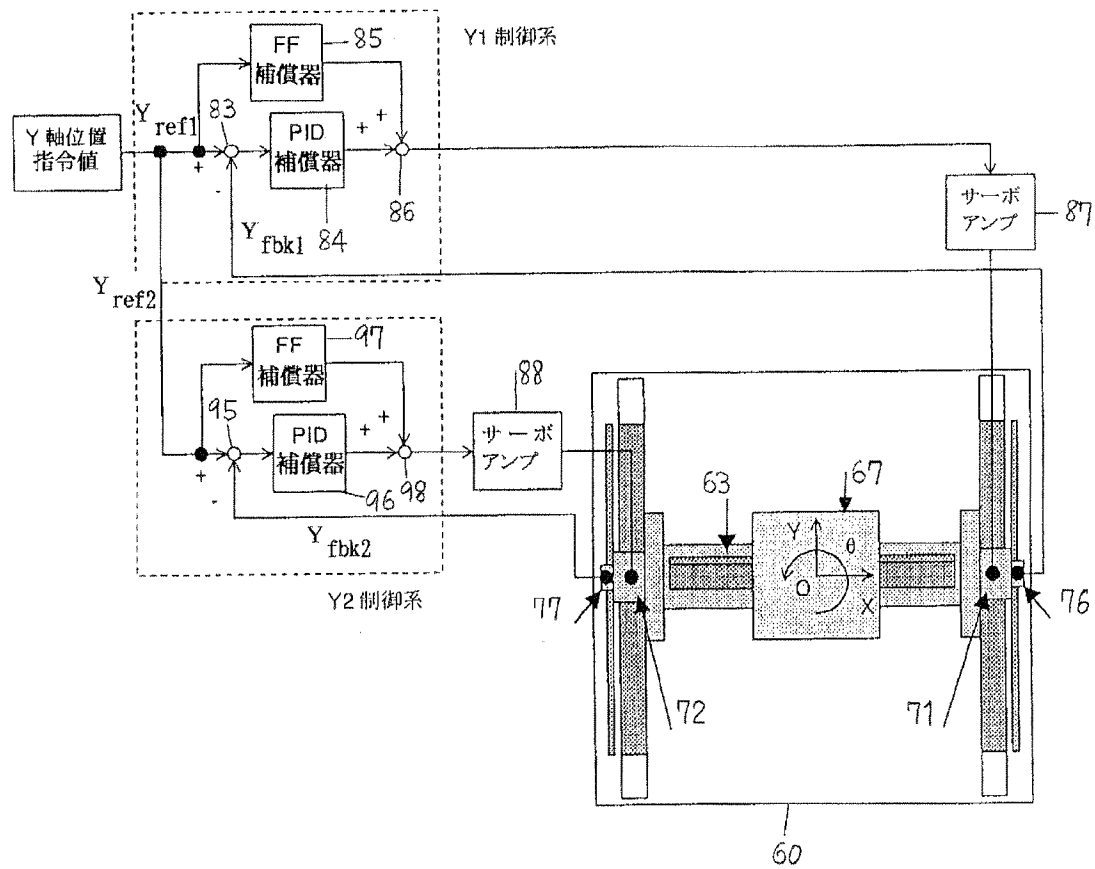
【図4】



【図5】



【図6】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	ターマコード (参考)
G 0 5 B 11/36	5 0 7	G 0 5 B 11/36	5 0 7 H
		13/02	C
G 1 2 B 5/00		G 1 2 B 5/00	T
		B 2 3 Q 1/14	B
		1/30	

(72)発明者 森 英彦
 神奈川県平塚市夕陽ヶ丘63番30号 住友重
 機械工業株式会社平塚事業所内

F ターム(参考) 2F078 CA08 CB05 CB13 CC11
3C048 BB12 CC17 DD06
5H004 GB15 HA07 HB07 JA22 JB08
JB18 JB20 JB22 KA71 KB13
KB32 LA15 LA18 MA12
5H303 AA01 AA20 BB01 BB07 BB11
BB14 BB17 CC04 DD04 FF03
KK01 KK02 KK03 KK04 KK11
KK28 ~~MM~~05
9A001 KK32 KK37 KK54